

Le tissu musculaire et le mécanisme de la contraction.

- **La structure microscopique du muscle.**
- **La contraction musculaire.**
- **La structure macroscopique du muscle.**
- **Exercices et corrigés.**

Il existe trois types de tissu musculaire : lisse, cardiaque et squelettique.
Chaque type est caractérisé par une structure, une fonction et une localisation différentes.

Les fonctions du muscle sont :

- **Le mouvement.** Les mouvements du corps tels que la marche, la respiration, la parole ainsi que ceux qui sont associés à la digestion et aux flux liquidiens.
- **La production de la chaleur.**
- **La posture et le soutien du corps.**

La structure microscopique du muscle.

Les cellules musculaires qui ressemblent à de petits filaments sont appelées fibres musculaires. Chaque fibre squelettique est une cellule striée multinucléée contenant un grand nombre de myofibrilles cylindriques qui s'étendent sur toute la longueur de la cellule. Chaque myofibrille est constituée de plus petites unités appelées myofilaments (ou filaments). Les myofilaments minces sont constitués essentiellement d'une protéine contractile, l'actine, et les myofilaments épais d'une autre protéine contractile, la myosine.



La structure des myofilaments.

Les filaments épais.

En forme de club de golf , chaque molécule de myosine est constituée d'un long segment tubulaire et d'une tête globulaire, la tête de myosine ou pont d'union. La tête de myosine comporte un site de fixation de l'actine et un site de fixation de l'ATPase. Les segments tubulaires sont accolés les uns aux autres, leur tête globulaire orientée vers l'extérieur, et ils constituent les filaments épais qui s'étendent entre les filaments minces (figures7.1).

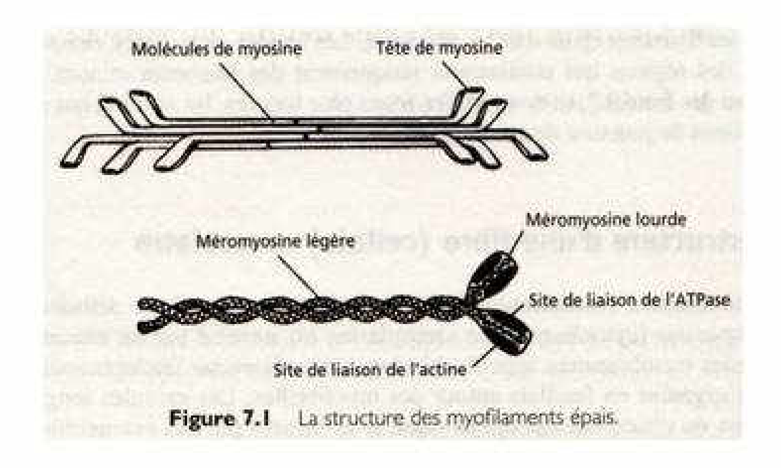


Figure 7.1 La structure des myofilaments épais.

Les filaments minces.

Ces filaments sont composés de protéines, l'actine, la tropomyosine et la troponime. Deux longs brins d'actine forment le squelette des filaments minces. Les chaines longues et fines de tropomyosine s'enroulent autour des brins d'actine et masquent les sites de fixation de la myosine sur l'actine. Des molécules de troponime relient la chaine de tropomyosine à l'hélice d'actine (figure 7.2). Dans les myofibrilles du muscle squelettique et du muscle cardiaque, les filaments minces et les filaments épais se chevauchent pour former un pattern particulier appelé sarcomère. Le sarcomère est l'unité structurale et fonctionnelle d'une myofibrille.

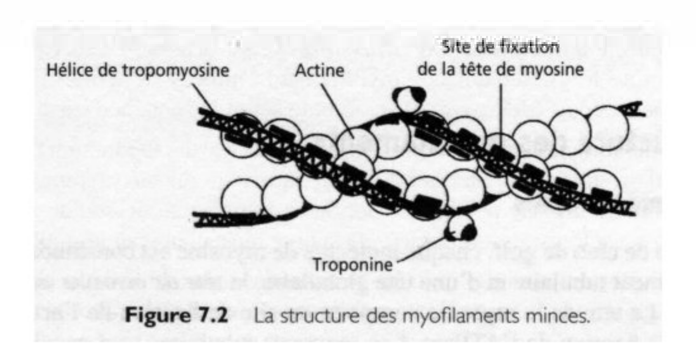


Figure 7.2 La structure des myofilaments minces.

Les striations entrecroisées, que l'on observe dans le muscle squelettique et dans le muscle cardiaque, sont dues à ce pattern d'intercalations régulières des filaments épais et des filaments minces. Les bandes sombres qui contiennent les filaments épais sont les bandes A. Les bandes plus claires, bandes I, sont des régions qui contiennent uniquement des filaments minces. Au milieu des bandes I, se trouvent des zones plus foncées, les stries Z, qui sont les zones de jonction des sarcomères adjacents.

La structure d'une fibre (cellule) musculaire.

Le sarcolemme (membrane cellulaire) de la fibre musculaire délimite le sarcoplasme (cytoplasme). Le sarcoplasme est traversé par un réseau de saccules membranaires appelé réticulum sarcoplasmique (endoplasmique) qui s'organise en feuillets autour des myofibrilles. Les saccules longitudinaux du réticulum sarcoplasmique se terminent par des extensions en cul de sac, les citernes terminales. Les citernes terminales stockent des ions calcium (CA^{2}) et jouent un rôle important dans la régulation de la contraction musculaire. Les tubules traverses (tubules T) sont des prolongements internes du sarcolemme qui s'étendent perpendiculairement au réticulum sarcoplasmique. Les tubules T passent par des segments adjacents des citernes terminales et pénètrent en profondeur dans la fibre musculaire permettant la conduction du potentiel jusqu'ai cœur de cette fibre.

La contraction musculaire.

Dans la théorie de la contraction par glissements des filaments, les myofilaments (minces et épais) des myofibrilles glissent les uns par rapport aux autres, ce qui provoque le raccourcissement de la fibre musculaire, avec un mouvement global du muscle de l'insertion vers l'origine. Le mécanisme qui provoque le glissement des myofilaments minces (d'actine) sur des myofilaments épais (de myosine) se déroule selon la séquence suivante :

1 La stimulation transmise par l'acétylcholine à travers la jonction neuromusculaire, initie un potentiel d'action au niveau du sarcolemme de la fibre musculaire. Ce potentiel d'action se propage au niveau du sarcolemme et est transmis à l'intérieur de la fibre musculaire par les tubules T.

2 Sous l'effet du potentiel d'action les citernes terminales déversent des ions calcium (Ca^{2+}), dans l'environnement immédiat des myofibrilles.

3 Les ions Ca^{2+}, se fixent sur les molécules de troponime associées aux molécules de tropomyosine sur les filaments minces, ce qui modifie la conformation tridimensionnelle de la triponine. Cette modification provoque le déplacement de la tropomyosine et démasque les sites de fixation de l'actine sur la myosine.

4 Les têtes de myosine (pont d'union) se lient à l'actine. Du fait de cette liaison, la tête de myosine, dans une configuration de haute énergie, subit un changement de conformation qui provoque son redressement .Le filament d'actine est tiré sur le filament de myosine dans un mouvement appelé force de traction.

5 Après la traction, la tête de myosine se détache de son site de fixation sur l'actine et de l'ATP se fixe sur la tête de myosine. L'ATPase de la tête de myosine hydrolyse l'ATP en ADP + énergie : l'énergie est utilisée pour rétablir une conformation de haute énergie de la tête de myosine. La tête de myosine peut ainsi se lier à un autre site de fixation de l'actine (s'il est exposé du fait de la préférence de calcium), ce qui produit une autre traction.

6 La répétition de ces tractions permet de tirer les filaments minces. Ce glissement, selon un mécanisme de roue à rochet, qui implique l'interaction de nombreux sites de fixation de l'actine et de têtes de myosine, produit une unique contraction musculaire.

7 Lorsque le potentiel d'action s'interrompt, le calcium (Ca^{2+}) du cytoplasme est ramené par transport actif dans les citernes terminales du réticulum sarcoplasmique. En absence de calcium, la troponine reprend sa configuration initiale de sorte que la tropomyosine masque à nouveau les sites de fixation de la myosine situés sur les filaments minces. Les filaments minces retournent à leur état initial et le muscle se relâche.



La jonction musculaire.

La stimulation d'un neurone provoque la contraction du muscle squelettique. L'espace compris entre la terminaison axonale d'un neurone moteur et la fibre musculaire est appelé jonction neuromusculaire (figure 7.3).

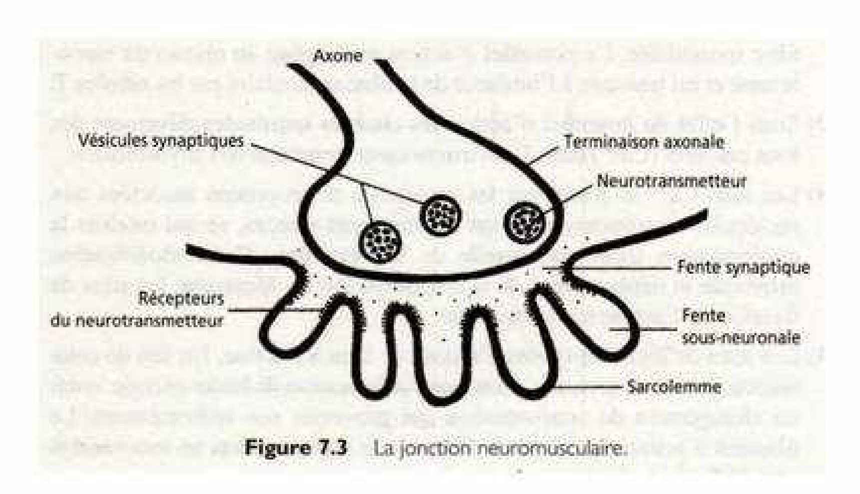


Figure 7.3 La jonction neuromusculaire.

Le potentiel d'action se propage le long d'un neurone moteur jusqu'à la terminaison axonale ou il provoque un influx d'ions calcium. Les ions calcium agissent sur les vésicules synaptiques qui libèrent l'acétylcholine qui diffusent à travers la fente synaptique et se lie à des récepteurs spécifiques situés sur le sarcolemme . Le potentiel d'action se propage sur tout le sarcolemme et initie la séquence d'événements décrite ci-dessus.

L'unité motrice.

L'ensemble formé par les ramifications d'un unique neurone moteur et par les fibres des muscles squelettiques qu'elles innervent, est appelé une unité motrice. Les grosses unités motrices sont constituées d'un grand nombre de fibres alors que les petites unités en contiennent un nombre relativement plus restreint. La contraction d'un muscle squelettique met en jeu plusieurs unités motrices. Des mouvements précis et hautement coordonnés nécessitent peu d'unités motrices. Lorsqu'une force musculaire importante est requise, de nombreuses unités motrices sont mises en jeu. La réponse de chacune des fibres d'une unité motrice à un stimulus électrique, comprend trois phases (figure 7,4) :

1. La période de latence, entre le moment de la stimulation et le début de la contraction.
2. La période de contraction (ou durée de contraction), lorsque le travail musculaire est réalisé.
3. La période de relâchement, ou de récupération de la fibre musculaire.

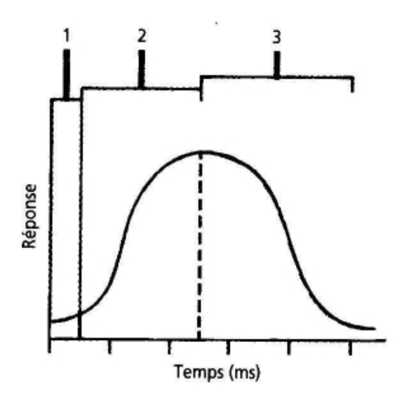


Figure 7.4 L'activité d'une fibre musculaire en réponse à un stimulus.



Important.

Les différents types de fibres musculaires squelettiques.

Les fibres à contraction rapide : grosse fibres contenant de grandes quantités de glycogène ; peu de myoglobine (pigment qui fixe l'O2) ; voie anaérobie de production de l'ATP ; fibres fatigables ; forces et rapidité.
Les fibres à contraction lente : petites fibres contenant peu de glycogène, riche en myoglobine ; voie aérobie de production de l'ATP ; résistantes à la fatigue, endurance.
Les fibres intermédiaires : de taille intermédiaire ; quantité moyenne de myoglobine ; riches en myoglobine ; production d'TP par les deux types de voies, anaérobie et aérobie.

Secousse musculaire, sommation et tétanos.

Un seul potentiel d'action qui arrive au niveau des fibres musculaires d'une unité motrice provoque une contraction du muscle, rapide et de courte durée, appelée secousse musculaire (figure 7.5) .
Si une succession rapide de stimuli est appliqué au niveau des fibres de plusieurs unités motrices d'un muscle, une secousse musculaire n'est pas achevée avant que la suivante ne commence.

Puisque le muscle est déjà partiellement contracté lorsque la deuxième secousse musculaire débute, le raccourcissement du muscle au cours de la deuxième contraction sera légèrement plus important qu'il ne l'est lors d'une seule secousse musculaire. On appelle sommation ce léger raccourcissement musculaire supplémentaire dû à la succession rapide de deux ou plusieurs potentiels d'action. Pour des fréquences rapides de stimulation, les secousses qui se chevauchent s'additionnent en une contraction unique, forte et soutenue, que l'on appelle un tétanos.

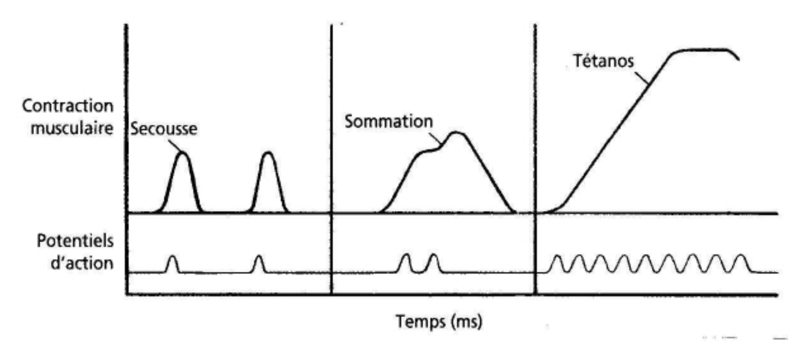


Figure 7.5 La secousse musculaire, la sommation et le tétanos.



La structure macroscopique du muscle.

Le tissu musculaire squelettique et le tissu conjonctif associé sont organisés en faisceaux musculaires. Cette architecture détermine la force et le sens de contraction des fibres musculaires. On distingue les fibres parallèles, convergentes, pennées (en forme de plumes) ou circulaires des sphincters.

Les trois gaines de tissu conjonctif lâche de type fibreux que l'on trouve à différents niveaux du muscle permettent d'uniformiser la force de contraction. L'endomésyum est le tissu conjonctif qui entoure chaque fibre musculaire.

Le périmysium entoure plusieurs fibres musculaires pour constituer un faisceau. Un muscle est formé de nombreux faisceaux. Chaque muscle est enveloppé par l'épimysium. Ces trois tissus conjonctifs sont en continuité avec le tendon qui assure la fixation du muscle de l'os.

Un muscle est attaché au squelette à deux niveaux. L'origine est le point d'attachement le moins mobile du muscle ; l'insertion est le point le plus mobile. L'origine est généralement en position proximale par rapport à l'articulation, et l'insertion en position distale.

• SAVOIR.

La différence entre les fibres musculaires, les myofibrilles et les myofilaments.

Le mécanisme de contraction musculaire et l'importance des ions Ca^{2+} et de l'ATP dans ce processus.
L'organisation et le rôle des muscles squelettiques ; les unités motrices , les différents types de fibres , les différents types de contraction et la structure macroscopique des muscles.



Exercices.

1. Faire comprendre.

(1) Strie Z	a) structure protéinique aplatie à laquelle les filaments minces sont reliés.
(2) Sarcomère	b) Unité de base d'une fibre musculaire.
(3) Bande A	c) Prolongements membranaires qui constituent des saccules allongés à l'intérieur de la cellule musculaire.
(4) Réticulum sarcoplasmique	d) Structure qui lie le calcium.
(5) Troponine	e) Initie ou régule la contraction.
(6) Calcium	f) Composé essentiellement de myosine.
(7) Complexe ATPase myosine	g) Permet de libérer l'énergie de l'ATP.

2. Vrai ou faux ?

a) On ne trouve de l'actine que dans les fibres striées des muscles squelettique et cardiaque.
b) Les filaments musculaires sont entourés de périmysium.
c) Les myofilaments minces sont constitués principalement de myosine.

Solutions

1

(1) a
(2) b
(3) f
(4) c
(5) d
(6) e
(7) g

2

(a) faux
(b) vrai
(c) faux



Le système musculaire.

- **La terminologie musculaire.**
- **Les muscles du squelette axial.**
- **Les muscles du squelette appendiculaire.**
- **Exercices et corrigés.**

La terminologie musculaire.

La nomenclature des muscles est établie en fonction de différentes caractéristiques de ces muscles.

Nomenclature des muscles.

Caractéristiques. (7)	**Exemple.**
Forme.	Deltoïde (en forme de triangle).
Localisation.	Pectoral (au niveau de la poitrine).
Insertion	Sterno-cléido-mastoïdien.
Orientation	Droit (Comme des bandelettes).
Position relative.	Latéral, médial.
Fonction	Abducteur, Fléchisseur.

La fonction (ou l'action) des muscles est décrite selon la terminologie ci-dessous.

Action. (11)	**Définition.**
Flexion.	Diminue l'angle articulaire.
Extension.	Augmente l'angle articulaire.
Abduction.	Mouvement d'éloignement par rapport à la ligne médiane du corps.
Adduction.	Mouvement de rapprochement par rapport à la ligne médiane du corps.
Elévation.	Elève une structure du corps.
Dépression.	Abaisse une structure du corps.
Rotation.	Mouvement d'un os autour de son axe longitudinal.
Supination.	Rotation de l'avant bras, la paume orientée vers l'avant.
Pronation.	Rotation de l'avant bras , la paume orientée vers l'arrière.
Inversion.	Oriente la plante des pieds vers l'intérieur.
Eversion.	Oriente la plante des pieds vers l'extérieur.

Les muscles du squelette axial.

Les muscles du squelette axial comprennent ceux qui interviennent dans l'expression faciale (que l'on n'abordera pas ici), ceux impliqués dans la mastication, dans les mouvements du cou et dans la respiration, ceux qui agissent sur la paroi abdominale et ceux qui assurent les mouvements de la colonne vertébrale.

Les muscles de la mastication qui mobilisent la mandibule sont les suivants :

Temporal.	• : Fosse temporale.	I : Processus coronoïde de la mandibule.
Masséter	• : Arc Zygomatique.	I : Face latérale de la branche de la mandibule.
Ptérygoïdien médial.	• : Os sphénoïde.	I : face médiale de la branche de la mandibule.
Ptérygoïdien latéral.	• : Os sphénoïde.	I : face antérieure de condyle mandibulaire.

Les muscles impliqués dans les mouvements du cou comprennent les muscles :

Sterno-cléido-mastoïdien	**O : Sternum et clavicule.**	**I : Processus mastoïde.**
Digastrique.	• : Processus mastoïde. Os hyoïde.	I : Bord inférieur de la mandibule.

Les **muscles de la paroi abdominale** ont tous un rôle de compression de l'abdomen ; certains agissent sur la rotation externe et la flexion de la colonne vertébrale.

Oblique externe.	• : Les huit côtes inférieures.	I : Crête iliaque, ligne blanche et pubis.
Oblique Interne.	• : crête iliaque, ligament inguinal, fascia lombaire	I : Ligne blanche ; pubis ; cartilages costaux des côtes inférieures.
Transverse de l'abdomen.	O : Crête iliaque, ligament inguinal, côtes inférieures.	I : Processus xiphoïde, ligne blanche, pubis.
Droit de l'abdomen.	O : Processus xiphoïde ; cartilages costaux de la cinquième, sixième et septième côte.	I : Crête pubienne ; symphyse pubienne.

Les **muscles de la colonne vertébrale** comprennent un groupe de muscles appelés muscles érecteurs spinaux. Ces muscles sont des muscles à orientation longitudinale qui ont un rôle d'extension de la colonne vertébrale.

Muscles du squelette appendiculaire.

Les muscles du squelette appendiculaire comprennent ceux de la cage thoracique, du bras (brachium), de l'avant bras (antébrachium), de la main (manus) de la cuisse, de la jambe, et du pied (pes).

Les **muscles de la cage thoracique** relient la cage thoracique au squelette axial et sont impliqués dans les mouvements de la ceinture scapulaire.

Dentelé antérieur.	• : Les huit ou neuf côtes supérieures.	I : à l'avant du bord médial de la scapula.
Petit pectoral.	• : Extrémités sternales de la troisième à la cinquième côte.	I : Processus coracoïde de la scapula.
Trapèze.	• : Os occipital et processus épineux des vertèbres cervicales et thoraciques.	I : Clavicule, acromion et épine de la scapula.
Elévateur de la scapula.	•: Quatre premières vertèbres cervicales.	I : bord supérieur de la scapula.
Grand rhomboïde.	• : Processus épineux de la deuxième à la cinquième vertèbre thoracique.	I ; bord médial de la scapula.
Petit rhomboïde.	•: septième vertèbre cervicale et premières vertèbres lombaires.	I : Bord médial de la scapula.

Au niveau de l'articulation de l'épaule, les **muscles qui assurent les mouvements de l'humérus** permettent la flexion, l'extension, la rotation, l'abduction et l'adduction de l'humérus. La fonction de chacun de ces muscles est déterminée par son origine et son insertion.

Grand Pectoral.	• : Clavicule, sternum, de la deuxième à la sixième côte.	I : Sillon intertuberculaire de l'humérus.
Grand dorsal.	• : Processus épineux des vertèbres lombaires, sacrées, et des dernières vertèbres thoraciques.	I : Sillon intertuberculaire de l'humérus.
Deltoïde.	• : Clavicule, acromion, et épine scapulaire.	I : Tubérosité deltoïdienne.
Supra épineux.	• : Fosse supra épineuse.	I : Tubercule majeur de l'humérus.
Infra-Epineux.	• : fosse infra-épineuse.	I : Tubercule majeur de l'humérus.
Grand rond.	• : Bord latéral de la scapula.	I : Sillon intertuberculaire de l'humérus.
Petit rond.	• : Bord latéral de la scapula.	I : Tubercule majeur de l'humérus.
Sous-scapulaire.	• : Face antérieure de la scapula.	I : Tubercule mineur de l'humérus.
Caraco-brachial.	• : Processus coracoïde de la scapula.	I : Diaphyse de l'humérus.

Les **muscles antérieurs qui assurent les mouvements de l'avant bras** permettent la flexion du coude ; les muscles postérieurs permettent l'extension du coude.

Biceps brachial.	• : Processus coracoïde et tubercule supra-glénoïde de la scapula.	Tubérosité radiale.
Brachial.	• : Face antérieure de l'humérus.	I : Processus coronoïde de l'ulna.
Brachio-radial.	• : Epicondyle latéral de l'humérus.	I : Extrémité distale du radius.
Triceps brachial.	• : Tubercule infraglénoïdal de l'omoplate et la face postérieure de l'humérus.	I : Olécrane de l'ulna.
Anconé.	• : Epicondyle latéral de l'humérus.	I : Olécrane de l'ulna.

Il existe de nombreux muscles qui agissent sur la poitrine, la main et les doigts. Ils sont répartis en trois groupes génériques :

- Les pronateurs et les supinateurs, qui assurent la pronation et la supination de l'avant bras ;
- Les fléchisseurs, qui assurent la flexion de la poitrine et des doigts.
- Les extenseurs, qui assurent l'extension de la poitrine et des doigts.

Les muscles pronateurs et tous les muscles fléchisseurs, pont pour origine l'épicondyle médial de l'humérus ; les supinateurs et les extenseurs ont pour origine l'épicondyle latéral de l'humérus.

Les **muscles antérieurs qui assurent les mouvements de la cuisse** au niveau de la hanche ont un rôle de flexion et de rotation externe de la hanche.
Les **muscles postérieurs** permettent l'extension, l'abduction, et certains d'entre eux, la rotation de la hanche.

Iliaque.	• : Fosse iliaque.	I : Petit trochanter du fémur.
Grand psoas.	• : Corps et processus transverses des vertèbres lombaires.	I : Petit trochanter du fémur.
Grand fessier.	• : Crête iliaque, sacrum, coccyx et aponévrose de la région lombaire.	I : Extrémité supérieure de la ligne âpre et tractus ilio-tibial.
Moyen fessier.	• : face glutéale de l'ilium.	I : grand trochanter du fémur.
Petit fessier.	• : face glutéale de l'ilium.	I : grand trochanter du fémur.
Tenseur du fascia lata.	O : face glutéale de l'ilium et crête iliaque.	I : tractus ilio-tibial.

Mes **muscles médiaux qui assurent les mouvements de la cuisse** à partir de la hanche ont tous un rôle d'adduction de la cuisse.

Gracile.	• : Pubis et ischium.	I : Partie supérieure de la face médiale du tibia.
Pectiné.	• : pecten du pubis.	I : Sous le petit trochanter du fémur.
Long adducteur.	• : Pubis.	I : Ligne âpre. I
Court adducteur.	• : Pubis.	: Ligne âpre.
Grand adducteur.	• : branche inférieure ischio-pubienne.	I : Ligne âpre et épicondyle médial du fémur.

Les **muscles de la cuisse qui assurent e mouvement de la jambe** comprennent le groupe des muscles antérieurs qui assurent essentiellement l'extension de la jambe au niveau du genou (Sauf le sartorius qui a un rôle de flexion de la cuisse et de la jambe) , et les muscles postérieurs qui assurent 'extension de la cuisse au niveau de la hanche et la flexion de la jambe au niveau du genou.

Sartorius.	• : Epine iliaque antéro-supérieure.	I : Face médiale du tibia.
Droit fémoral.	• : Epine iliaque antéro-inférieure.	I : base du patella.
Vaste latéral.	• : Grand trochanter et ligne âpre.	I : Tendon se fixant sur la base de la patella.
Vaste médial.	• : Ligne âpre.	I : Tendon se fixant sur la base de la patella.
Vaste intermédiaire.	• : Faces antérieure et latérale du fémur.	I : Tendon se fixant sur la base de la patella.
Biceps fémoral.	• : Tubérosité ischiatique ligne âpre.	; I : Tête de la fibula et tubérosité latérale du tibia.
Semi-tendineux.	• : Tubérosité ischiatique.	I : partie supérieure du corps du tibia.
Semi-membraneux.	• : Tubérosité ischiatique.	I : Condyle médial du tibia.

Les **muscles de la jambe qui assurent les mouvements de la cheville, du pied et des orteils** sont classés en (I) groupe antérieur (comprenant le tibial antérieur) qui assure la dorsiflexion du pied et de l'extension des doigts, (2) groupe latéral (les muscles du péroné) qui permet la dorsiflexion et l'éversion, et (3) groupe postérieur (incluant le gastrocnémien et le soléaire) qui permet la flexion plantaire du pied et des orteils. Quelques uns sont mentionnés ci-dessous.

Tibial antérieur.	• / condyle latéral du tibia.	I : Cunéiforme médial et premier métatarsien.
Gastrocnémien.	• : Epicondyle latéral et médial du fémur.	I : Calcanéum.
Soléaire.	• : face postérieure du tibia et de la fibula.	I : Calcanéum.

• SAVOIR !

Pour chaque muscle :
- -L'origine.
- -L'insertion.
- -L'action.

Exercices.

1. Une des muscles fléchisseurs de l'articulation de l'épaule est (a) l'infra-épineux ; (b) le trapèze ; (c) le grand pectoral ; (d) le grand rond.
2. Lequel de ces muscles n'est pas rattaché à l'humérus, (a) L'infra épineux ; (b) le biceps brachial ; (c) le brachial, (d) le grand pectoral.
3. Parmi les quadriceps du fémur, lequel se contracte de l'articulation du genou à la hanche, (a) Droit fémoral ; (b) vaste médial ; (c) vaste intermédiaire ; (d) vaste latéral.
4. Lequel de ces muscles n'a pas d'attache au niveau de la cage thoracique, (a) Dentelé antérieur ; (b) droit de l'abdomen ; c) grand pectoral ; (d) grand dorsal.
5. Parmi les caractéristiques suivantes, laquelle n'est pas utilisée dans la terminologie musculaire, (a) Localisation ; (b) action ; (c) forme ; (d) attachement ; (e) force de contraction.
6. Le muscle : (a) buccinateur ; (b) temporal ; (c) mentonnier ; (d) zygomatique ; (e) orbiculaire de l'œil, est un muscle de la mastication.

Solutions

1. c
2. c
3. a
4. d
5. e
6. b